ارزیابی تاثیر با هم ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی آسفالتی در تصادف‌های آزادراهی *

«یادداشت پژوهشی»

بهنام امینی[۱]   حمیدرضا صالحپور[۲]

چکیده *مطالعات بسیاری در زمینه اثر جدا از هم ضریب اصطکاک یا عمق بافت بر روی تصادف‌ها در راه انجام شد، ولی تاکنون پژوهشگران اثرهای این دو متغیر را با هم نسنجیده‌اند. در این پژوهش اندرکنش اصطکاک و عمق بافت رویه آسفالتی و نرخ تصادف‌های، در سی مقطع آزادراهی بررسی شده است. در این راستا آمار و داده‌ها تصادف‌ها جمع آوری و برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دستگاهی طراحی و ساخته شد. با تحلیل رگرسیون غیر خطی روی آمار و داده‌ها یک الگوی نمایی ترکیبی به دست داده اند. نتیجه‌های الگوسازی نشان می‌دهد که برخلاف رابطه موجود میان ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی، هر یک از آن‌ها اثرهای مستقلی دارند که می‌توانند کاهش چشمگیری در نرخ تصادف‌های آزادراهی ایجاد کند.*

واژه‌های کلیدی مقاومت لغزشی روسازی، ضریب اصطکاک روسازی، عمق بافت، تصادف‌های آزاد راهی، نرخ تصادف.

Evaluating the Combined Effects of Friction Coefficient and Texture Depth of Asphalt Concrete Pavement on Freeway Accidents

B. Amini   H.R. Salehpoor

Abstract *Many studies have been conducted focusing on the effects of friction coefficient or texture depth on the highway accident risk. However, combined effects of these parameters have not been still addressed. In this research the interaction between friction coefficient, texture depth and accident rate in 30 freeway sections were examined. The accident data were gathered and an apparatus was designed to measure friction coefficient. A nonlinear regression analysis was performed and a combined exponential model was obtained. The results indicated that despite cross correlation between friction coefficient and texture depth, thess parameters have some independent effects on accident rates which can be used to decrease freeway accidents significantly.*

Key Words Pavement Skid Resistance, Pavement Friction Coefficient, Texture Depth, Freeway Accidents, Accident Rate.

* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱٦ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۲٦ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسئول، عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی

(۲) کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه بین المللی امام خمینی

مقدمه

ایمنی یکـی از ملاحظـه‌هـای اساسـی در برنامـه‌ریـزی و طراحی و مدیریت راه‌هاست و افزون بر اثرهای اقتصادی، عوارض اجتماعی و روانی گسترده‌ای در جوامع امـروزی دارد. با توجه به این‌که حمل و نقل جاده‌ای بیشترین سهم در جابجـایی افـراد را دارد، ایمنـی در جـاده‌هـا موجـب کاهش آمار مرگ و میر و جراحت افراد و نیز کـاهش در خسارت‌های مالی وارده می‌شود. با افزایش حجم رفت و آمد و سرعت وسایل نقلیه در جاده ها، همه ساله بر شمار کشته شدگان و مجروحان در کشور افزوده می شود. آمار حادثه‌های رانندگی کشور در سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد که روزانه بیش از ٦٢ نفر در اثر تصادف‌هـای جـاده‌ای جـان خود را از دست می‌دهند [۱].

تـصادف‌هـا پیـشامدهای پیچیـده‌ای هـستند کـه از اندرکنش چهار عامل انسان، راه، وسـیله نقلیـه و شـرایط محیط روی می‌دهند. یکی از عامل‌های مؤثر در ایمنـی و کاهش روی دادن تصادف‌ها، مقاومت روسـازی در برابـر لغزش است. هر چه سطح رویه جاده بـا سـطح لاسـتیک وسیله نقلیه، اصطکاک بیشتری داشـته باشـد بـه هـدایت وسیله نقلیه و ایست به هنگام آن، کمک کـرده و از روی دادن تصادف ناشی از لغزش پیشگیری می‌شود. در سامانه آزادراهی به دلیل سرعت زیاد، هدایت خودروها دشوارتر و نقـش مقاومـت لغزشـی روسـازی در ایمنـی بـسیار چشمگیرتر است.

بنا به تعریف اسـتاندارد ASTM مقاومـت لغزشـی (Skid Number) عبارت از نیروی مقاوم پدید آمده بـین لاستیک و سطح روسازی در هنگام ترمزگیـری و حالـت قفل شـدن چـرخ خـودرو مـی‌باشـد، کـه از سـرخوردن لاستیک پیشگیری می‌کند. همچنین ضریبی با عنوان عـدد لغزندگی (SN) معرفی شده که برابر است با [2]:

$$SN = 100\mu = 100(F/N) \quad (1)$$

که در آن:

μ = ضریب اصطکاک،

F = نیروی اصطکاک (نیروی افقی وارد به چرخ در محل تماس تایر و روسازی) و

N = نیروی عمودی وارد بر سطح می باشد.

ضریب اصطکاک μ از نسبت دو نیرو، یکی نیروی موازی بـا سـطح تمـاس دو سـطح و مخـالف بـا جهـت حرکت آن‌ها (نیروی اصطکاک)، و دیگری نیـروی عمـود بر این سطح(نیروی قائم)، به دست می آید.

مقاومت لغزشی سطح جاده بـه عامـل‌هـایی ماننـد جنس سنگدانه، بافت (Texture) ریز و درشت، رطوبـت و... بستگی دارد که هرگاه این عامل‌ها به همراه عامل‌های وابسته بـه خـودرو هماننـد ترمـز و لاسـتیک در شـرایط مناسبی قرار داشته باشند، مقاومت لغزشـی یـا اصـطکاک حاصل بیشترین مقدار خواهـد بـود. در شـرایط خـشک، مقاومت لغزشی تقریبی همه سطح‌ها از مقدار قابل قبـولی بر خوردار اسـت، ولـی در شـرایط مرطـوب ایـن گونـه نیست. به همین دلیل، نیاز بـه اقـدام‌هـایی بـرای افـزایش مقاومت لغزشی وجود دارد که نتیجه آن ایمنی در هنگـام ترمز گرفتن و تغییر جهت است.

بافـت سـطحی روسـازی تـابعی از نـوع و منحنـی دانه‌بندی سنگدانه‌های به کار رفتـه در مخلـوط روسـازی است. سنگدانه‌های درشت با دانه‌بندی بـاز باعـث ایجـاد مقاومت لغزشی مناسب در سرعت‌های بالا می‌شود[3].

زبـری ریـز روسـازی باعـث ایجـاد اصـطکاک در سرعت‌های پایین می‌شود.بافت ریز شامل ناهمواری‌هـای سطحی ریز دانه‌های سنگی مـی‌شـود کـه در چـسبندگی لاستیک و رویه اثرگذار است. مقدار بافت ریز بستگی بـه زبری اولیه سطح رویه و توانـایی دانـه‌هـا در حفـظ ایـن زبری در فرایند صـیقلی‌سازی رفـت و آمـد دارد. بافـت درشت شامل ناهمواری‌هـای بـزرگ‌تـر سـطح روسـازی می‌شود که در تغییر شـکل لاسـتیک و جـذب انـرژی آن موثر است. مقدار بافت درشت بستگی به انـدازه و شـکل دانه‌هـای درشـت و نیـز بـستگی بـه روش‌هـای اجرایـی آسفالت رویه دارد. بافت درشت یک عامل موثر در فراهم

ســاختن امکــان خــروج آب در هنگــام تمــاس رویــه بــا لاستیک چرخ وسایل نقلیه است [4].

مرور سابقه‌های پژوهشی

اهمیت اثرگذار مقاومت لغزشی روســازی بـر ایمنـی راه، منجر به پژوهش‌های بسیاری در سراسر جهان و از جمله در موســسات پژوهــشی ماننــد TRL (Transportation Research Laboratory) و TRB (Transportation Research Board) شده و چندین الگو بـرای نـشان دادن میزان این تاثیر ارائه شده است [5,6,7].

سالت [8] در یک کار پژوهشی وابسته به TRL بـه بررسی مقاومت لغزشی روسازی و میزان اثرگذاری آن بر روی دادن تصادف‌ها پرداخت. نتیجه‌های کـار وی نـشان داد که ضریب اصـطکاک روسـازی و تـصادف‌هـا رابطـه مـستقیم داشـته و خطـر تـصادف‌هـا بـا کـاهش ضـریب اصــطکاک روســازی ســیر صــعودی دارد. همچنــین در روسازی‌های با ضریب اصطکاک ۰/۶ و بـالاتر، تـصادف در اثر سر خوردن خودرو و خطر تصادف مجـدد در اثـر لغزش به شدت کم می‌باشد.

والمن و آستروم [9] بر روی رابطـه بـین مقاومـت لغزشی اندازه‌گیری شده به وسـیله اسـکریم (SCRIM) و تصادف‌ها مطالعاتی انجام دادند. نتیجه‌های این مطالعـات نشان داد که یک رابطه غیرخطی میان تصادف‌ها و ضریب اصطکاک سطح روسازی برقـرار مـی‌باشـد و کـاهش در ضریب اصطکاک روسازی باعـث افـزایش در روی دادن تصادف‌ها می‌شود. شدت این افزایش به گونه‌ای است که برای مقدارهای ضریب اصطکاک پایین‌تر از ۰/٤ با شـیب بیشتری ادامه می‌یابد.

کاتش [10] در یک کـار پژوهــشی بـر روی رابطـه مقاومت لغزشی و نرخ تصادف‌ها در ایالت ویرجینیا نشان داد که، نرخ تصادف‌ها با مقاومت لغزشی روسازی رابطـه مستقیم دارد و افزایش در ضریب اصطکاک روسـازی بـا کاهش نرخ تصادف همراه است. وی برای توصـیف ایـن رابطه از رگرسیون خطی میان این دو عامل بهره گرفت.

المنـصور [11] بـه رابطـه میـان مقاومـت لغزشـی روسازی با شمار تصادف‌ها، چگالی تصادف‌ها و اهمیـت تصادف‌ها پرداخته اسـت. در ایـن پـژوهش بـرای تعیـین مقدار مقاومت لغزشی روسازی از دستگاه مـو-متـر(Mu-meter) استفاده شده است. نتیجه‌های کار او نشان می‌دهد که یک رابطه غیر خطی بـا شـکل تـوانی میـان مقاومـت لغزشی روسازی و نرخ تصادف‌ها برقرار می‌باشد.

در یک کـار پژوهـشی TRB در چـارچوب برنامـه ملی پژوهش‌های راه امریکا (NCHRP) کـه در دانـشگاه تکزاس به انجام رسیده، رابطه بافت دانـه‌هـای روسـازی آسفالتی با مقاومت لغزشـی بـه کمـک تحلیـل تـصویری دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است[12].

فخری [۱۳] در یک مطالعه اثـر نـوع سـنگدانه بـر ویژگی‌های اصطکاکی و نفوذپذیری اندودهای سنگدانه‌ای را مورد بررسی قرار داده است.

هدف‌ها و روش پژوهش

یکی از عامل‌های مهم در فراهم سـاختن ایمنـی حرکـت خودرو، میزان مقاومت لغزشی روسازی است. از این رو، پژوهش ارتباط کمی و کیفی ضـریب اصـطکاک و عمـق بافت و تصادف‌ها در مقاطع آزادراهی با تاکید بر اثرهـای با هم آن‌ها مورد بررسی قرار مـی‌گیـرد. نتیجـه‌هـای ایـن پژوهش می‌تواند برای دستیابی به راهکارهای ایمن‌سازی راه‌هـا و اولویـت‌بنـدی آن‌هـا ونیـز اجـرای اقـدام‌هـای پیشگیرانه مورد استفاده قرار گیرد. از دیگر نتیجه‌های ایـن پژوهش می‌توان در شناسایی بخش‌هـایی از روسـازی بـا میزان مقاومت لغزشی پایین و شمار تصادف‌های بالا بهره گرفت.

در این پژوهش چند محور آزادراهی مـورد مطالعـه قـرار مـی‌گیـرد. پـس از جمـع‌آوری آمـار و داده‌هـای

تصادف‌های آزادراه‌ها و اندازه‌گیری ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی به برقراری رابطه میان ضریب اصطکاک روسازی، عمق بافت روسازی و نرخ تصادف‌ها پرداخته می‌شود. در ادامه با کمک روش‌های آماری چگونگی این رابطه و اثر عامل‌های ضریب‌اصطکاک و عمق بافت بر نرخ تصادف‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برای بررسی میزان تاثیر مقاومت لغزشی روسازی بر نرخ تصادف‌ها، آزادراه‌های قزوین- کرج، قزوین- زنجان، قم- تهران و قم- کاشان واقع در استان‌های قزوین، تهران و قم، با سه نوع شرایط آب‌وهوایی متفاوت به شرح زیر انتخاب و مورد مطالعه قرار می‌گیرد:

- آزادراه قزوین- کرج و قزوین- زنجان: کوهپایه‌ای و به نسبت سردسیر
- آزادراه قم- تهران: به نسبت معتدل
- آزادراه قم-کاشان: گرم و خشک

این محورها افزون بر تفاوت چشمگیر در شرایط آب‌وهوایی، تفاوت‌هایی از نظر حجم رفت و آمد عبوری و همچنین کیفیت و زمان اجرای آسفالت روسازی دارند.

در این پژوهش برای الگوسازی تصادف‌های آزادراهی از متغیرهای ضریب‌اصطکاک و عمق‌بافت روسازی و از متغیر نرخ تصادف برای ارزیابی تصادف‌های رخ داده در آزادراه استفاده می‌شود. روش اندازه‌گیری متغیرهای ضریب اصطکاک و عمق‌بافت در بخش‌های بعدی ارائه خواهد شد.

از آنجا که آمار روی دادن تصادف‌ها به تنهایی نمی‌تواند بیان‌گر رابطه صحیح و قابل استناد در ارزیابی مقاومت لغزشی روسازی و ایمنی باشد، از شاخص نرخ تصادف (Accident Rate) قطعه به کار می‌رود. نرخ تصادف بنا به تعریف، عبارت است از شمار تصادف‌ها به ازای یک میلیون وسیله نقلیه – کیلومتر پیموده شده در قطعه که با رابطه زیر به دست می آید [١٤]:

$$Ar_j = \frac{F_j \times 10^6}{365 \times P \times L_j \times ADT_j} \qquad (٢)$$

که در آن:

Ar_j = نرخ تصادف قطعه j (تصادف بر میلیون وسیله نقلیه-کیلومتر)،

F_j = فراوانی تصادف‌های قطعه j ،

P = دوره زمان تحلیل (بر حسب سال)،

L_j = طول قطعه j (بر حسب کیلومتر)،و

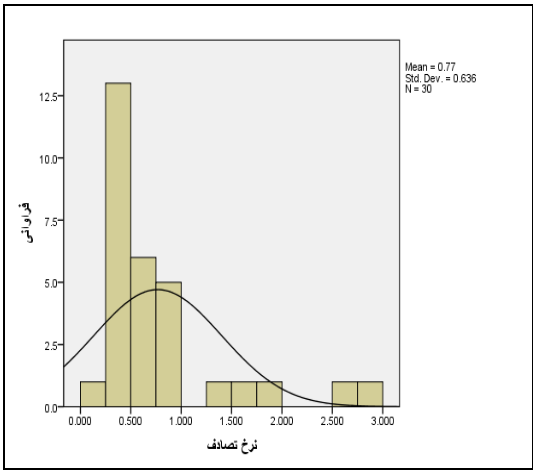
ADT_j = میانگین رفت و آمد روزانه در مکان j می‌باشد.

همان‌گونه که پیشتر اشاره شد، تصادف‌های ناشی از عامل‌های مختلفی از جمله انسان، راه، وسیله نقلیه و شرایط محیطی راه می‌باشد. در این پژوهش، تنها رابطه میان تصادف‌ها و مقاومت لغزشی و عمق بافت روسازی مورد بررسی قرار می‌گیرد و اثر دیگر عامل‌ها ثابت در نظر گرفته می شود.

جمع‌آوری آمار و داده‌های تصادف‌ها وحجم رفت و آمد

برای جمع آوری آمار و داده‌های تصادف‌ها و حجم رفت و آمد، از پایگاه داده‌های سازمان حمل و نقل و پایانه‌ها استفاده شده است که براساس گزارش‌های تصادف پلیس می‌باشد. آمار تصادف‌های مربوط به هر دو شرایط خشک و مرطوب سطح راه و انواع تصادف‌ها (فوتی، جرحی و خسارتی) است. هم‌چنین آمار و داده‌های آخرین بهسازی و تغییرات روسازی محورهای انتخابی در طول سال‌های گذشته گردآوری شد. با توجه به موقعیت وقوع تصادف‌های سی قطعه ٥ کیلومتری در فاصله ٥٠ کیلومتری آزادراه‌های انتخابی مشخص شد.

پس از جمع‌آوری آمار و داده‌ها تصادف‌ها و رفت و آمد محورها، با توجه به رابطه (٢) نرخ تصادف قطعه‌های جدا از هم محاسبه شد. توزیع فراوانی نرخ تصادف‌های محاسبه شده در قطعات مطالعاتی در شکل (١) نشان داده شده است.



شکل ۱ توزیع فراوانی نرخ تصادف آزادراهی در مقاطع ۵ کیلومتری

طراحی، ساخت و پرداخت دستگاه اندازه گیری ضریب اصطکاک روسازی

برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک روسازی چندین دستگاه مانند اسکریم (SCRIM)، تریلر با چرخ قفل شده (Locked Wheel Trailer)، گیرش سنج (Grip Tester)، دستگاه آونگ انگلیسی (Pendulum Test) و غیره ساخته شده است و هر یک دارای ویژگی‌های عملکردی خاصی است. در این پژوهش اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستا مورد نظر بود ولی استفاده از دستگاه آونگ انگلیسی در محورهای آزادراهی به دلیل زمان‌بر بودن انجام آزمایش و خطرهای ناشی از رفت و آمد خودرو نیز امکان پذیر نبود. بنابراین، اقدام به طراحی و ساخت یک ابزار سنجش ضریب اصطکاک شد، به گونه‌ای که توانایی اندازه‌گیری ضریب اصطکاک را با سرعت و ایمنی بیشتری نسبت به آونگ انگلیسی داشته باشد.

جزئیات دستگاه طراحی شده برای سنجش ضریب اصطکاک، در شکل (۲) آمده است. این وسیله از یک قطعه تایر خودروی سبک با آج‌های به نسبت نو به ابعاد ۷×۱۵×۳۰ سانتی‌متر و هفت صفحه فولادی به ابعاد ۵ × ۵ تا ۱۵ × ۳۰ به ضخامت ۱ سانتی متر که در داخل قطعه تایر قرار گرفته، متشکل شده است. وزن کل دستگاه درست ۱۱ کیلوگرم می‌باشد و از یک کابل فولادی ۲ متری برای کشیدن آن روی روسازی استفاده می‌شود که یک نیروسنج دیجیتالی با دقت ۲۰ گرم نیرو برای ثبت نیروی کشش به آن متصل است.

این دستگاه بر روی سطح جاده قرار داده شده و در جهت طولی با سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه کشیده می‌شود. در هنگام کشش عدد نمایش داده شده بر روی نیروسنج ثبت می‌شود. مقدار ضریب اصطکاک از تقسیم نیروی ثبت شده با نیروسنج بر نیروی قائم وارده بر دستگاه محاسبه می‌شود.

نکته‌هایی که بایستی در هنگام انجام آزمایش در نظر داشت:

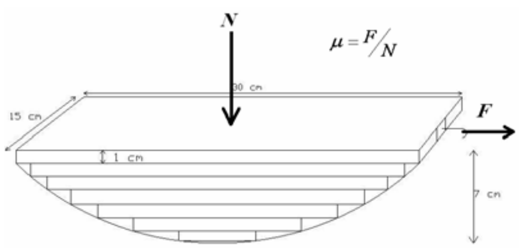
۱- محل انجام آزمایش بدون سنگدانه‌های شل، کنده شده و گل و لای باشد.

۲- دستگاه با سرعت یکنواخت در سطح جاده کشیده شود.

۳- کشش بایستی به صورت افقی کامل باشد تا مولفه قائم نیروی وزن حذف شود.

۴- برای کم کردن خطای آزمایش، این آزمایش برای هر بخش ۵ بار تکرار می‌شود.

برای توانایی هماهنگی کاربرد دستگاه سنجش ضریب اصطکاک نوآوری شده، ضروری است که نتیجه‌های آن با دستگاه‌های دیگر مقایسه شود. در این مطالعه آونگ انگلیسی برای واسنجی دستگاه استفاده شده است.



شکل ۲ تصویر شماتیکی دستگاه تعیین ضریب اصطکاک

برای تعیین رابطه ضریب اصطکاک دستگاه کششی با عدد آونگ‌انگلیسی (BPN) این آزمایش‌ها به صورت همزمان بر روی راه‌های با ٤ بافت روسازی متفاوت انجام شد و نتیجه‌ها ثبت شد. سپس تحلیل رگرسیون خطی میان نتیجه‌ها صورت گرفت. همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، یک رابطه خطی میان نتیجه‌های این دو آزمایش به شرح زیر برقرار است.

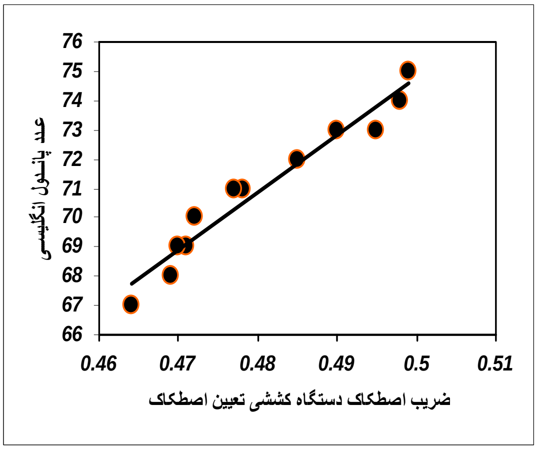
$$BPN = 197.04 \times f_{wet} - 23.709 \qquad (۳)$$

که در آن :

BPN= عدد آونگ انگلیسی، و

f_{wet}= ضریب اصطکاک دستگاه سنجش ضریب اصطکاک می‌باشد.

شاخص خوبی برازش رگرسیون خطی (R^2) برای این رابطه ۰/۹۵ است.



شکل ۳ رگرسیون خطی میان عدد آونگ انگلیسی و ضریب اصطکاک دستگاه کششی

در جدول (۱) نتیجه‌های تحلیل رگرسیون ضریب اصطکاک دستگاه کششی با عدد آونگ انگلیسی ارائه شده است.

جدول ۱ نتایج رگرسیون خطی عدد آونگ انگلیسی و ضریب اصطکاک دستگاه

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.975a	.950	.945	.58069

a. Predictors: (Constant), f_wet

Coefficientsa

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-23.709	6.843		-3.465	.006
	f_wet	197.036	14.233	.975	13.844	.000

a. Dependent Variable: BPN

در مرجع [15] رابطه‌ای میان BPN و عدد لغزندگی بنابه معادله (٤) برقرار شده که از آن می‌توان برای محاسبه عدد لغزندگی براساس ضریب اصطکاک کششی و عمق بافت روسازی بهره گرفت.

$$SN = (1.32(BPN) - 34.9) \times e^{\left[\frac{-(0.157(MTD)^{-0.47})}{100} \times V\right]} \qquad (٤)$$

که در آن :

SN= عدد لغزندگی،

MTD= عمق بافت روسازی(اینچ)،و

V= سرعت استاندارد (٤۰ مایل بر ساعت) می‌باشد.

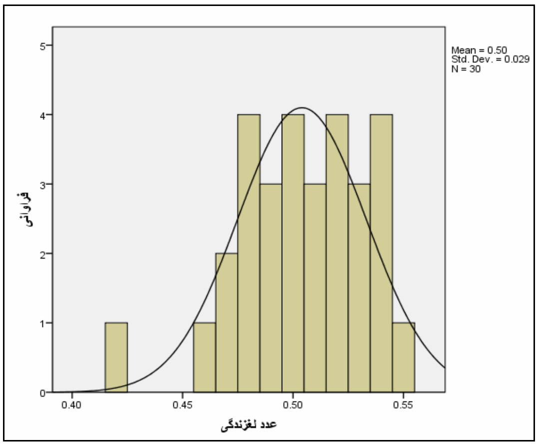
با توجه به مقدارهای SN ، می‌توان ضریب اصطکاک استاندارد در سرعت ٤۰ مایل برساعت از رابطه زیر به دست آورد:

$$\mu = SN/100 \qquad (۵)$$

که در آن :

μ= ضریب اصطکاک استاندارد می باشد.

نتیجه‌های اندازه‌گیری ضریب اصطکاک در شکل (٤) نشان داده شده است.

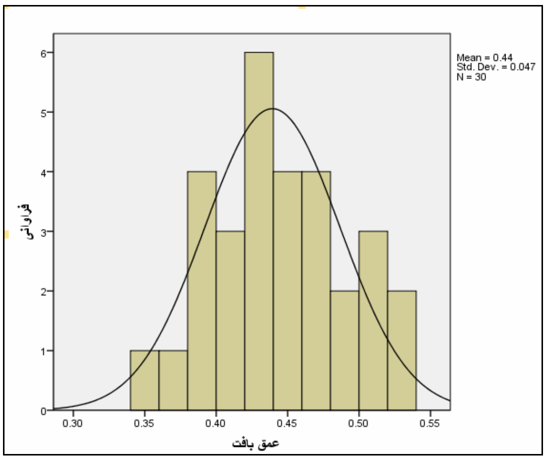


شکل ٤ فراوانی ضریب اصطکاک در قطعه‌های ۵ کیلومتری محورهای مطالعاتی

اندازه‌گیری عمق بافت روسازی

در این مطالعه بـرای انـدازه‌گیـری عمـق بافـت از روش پخش ماسه بنا به استاندارد ASTM E965 اسـتفاده شـده است. در این روش حجم معینی از ماسه بـا ویژگـی‌هـا و دانه‌بندی خاص بر روی سطح جاده و به صورت دایره‌ای پخش می‌شود. این کار با صفحه فلـزی و گـردی کـه بـه ارتفاع ۰/۲۵ اینچ از سـطح رویـه قـرار مـی‌گیـرد، انجـام می‌شود. نسبت حجم ماسه اولیه به سطح پوشش شده بـا ماسه، عمق بافت رویه راه را به دست می‌دهد.

فراوانی مقدارهای عمق بافت روسـازی بـه دسـت آمده از قطعه‌های ۵ کیلـومتری آزادراه‌هـای مطالعـاتی در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵ فراوانی عمق بافت روسازی درقطعه‌های ۵ کیلومتری محورهای مطالعاتی

تجزیه و تحلیل آمار و داده‌ها

به منظور سنجش کیفیت آمار وداده‌های جمع آوری شـده نخست راستی آزمایی آن‌ها با کمک آزمون بـدون عامـل کلموگروف-اسمیرنف (KS) برای سـنجش نرمـال بـودن داده‌ها استفاده شد. در جدول (۲) نتیجه‌های ایـن آزمـون ارائه شده است. همان‌گونه کـه مـشاهده مـی‌شـود، همـه متغیرها با اطمینان بالای ۹۵٪ نرمال هستند.

جدول ۲ نتیجه‌های آزمون تک نمونه‌ای کلموگروف اسمیرنف آمار و داده‌ها

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		accrate	mtd	sn
N		30	30	30
Normal Parameters[a,b]	Mean	.76680	.4393	.5040
	Std. Deviation	.635644	.04734	.02920
Most Extreme Differences	Absolute	.273	.097	.108
	Positive	.273	.097	.075
	Negative	-.186	-.067	-.108
Kolmogorov-Smirnov Z		1.495	.531	.592
Asymp. Sig. (2-tailed)		.023	.940	.874

a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.

در مرحله بعد تلاش شد رابطـه میـان متغیرهـا بـر اساس تحلیل همبستگی به دست آید. نتیجه‌هـای تحلیـل همبستگی در جدول (۳) ارائه شده و نشان مـی‌دهـد کـه رابطه معنی‌داری بین نرخ تصادف‌های (Ar)، عمـق بافـت روسـازی (MTD) و ضـریب اصـطکاک روسـازی (m) برقرار می‌باشد.

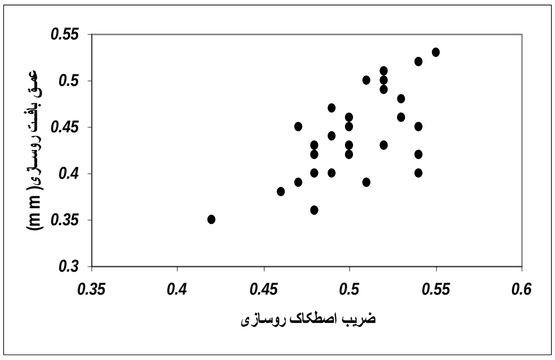
جدول ۳ جدول همبستگی نرخ تصادف آزادراه‌ها و ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی

Correlations

		m	MTD	Ar
m	Pearson Correlation	1	.626**	-.698**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000
	N	30	30	30
MTD	Pearson Correlation	.626**	1	-.632**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000
	N	30	30	30
Ar	Pearson Correlation	-.698**	-.632**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	
	N	30	30	30

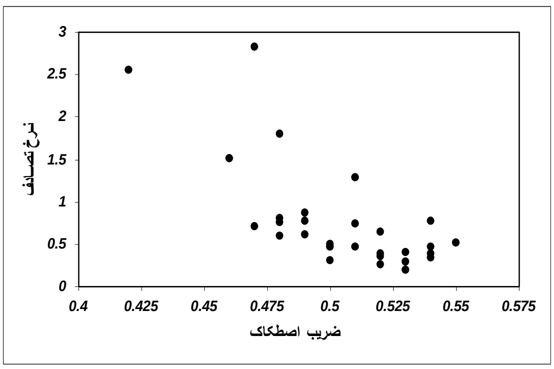
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

در شــکل (٦) نمــودار پــراکنش داده‌هــا ضــریب اصطکاک و عمق بافت در همه قطعه‌های مطالعــاتی ارائــه شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شـود، با افـزایش عمـق بافـت ضـریب اصـطکاک نیـز افـزایش می‌یابد. ضریب همبستگی خطی بین این دو متغیر ٠,٦٢٦ است.



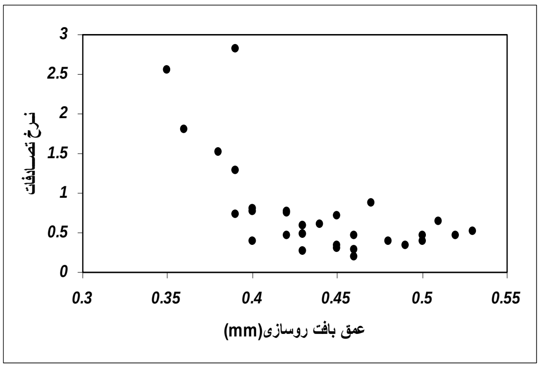
شکل ٦ نمودار پراکنش ضریب اصطکاک و عمق بافت قطعه های مطالعاتی

شکل‌های (٧) و (٨) نمودار پراکنش نرخ تصادف‌ها را برحسب ضریب اصطکاک و عمـق بافـت بـرای همـه قطعه‌های آزادراهی مطالعاتی نشان می‌دهند. همان‌گونه که در شکل (٧) ملاحظه می‌شود، رابطه ضریب اصـطکاک و نرخ تصادف نزولی است، به طوری که بـرای مقـدارهای ضـریب اصـطکاک کمتـر از ۰/٤٨، رونـد کاهــشی نــرخ تصادف با شدت بیشتری همراه است.



شکل ٧ نمودار پراکنش نرخ تصادف‌های و ضریب اصطکاک قطعه‌های مطالعاتی

بنا به شـکل (٨)، افـزایش در عمـق بافـت روسـازی باعث کاهش نرخ تصادف‌ها می‌شود. مقدارهای عمق بافت کمتر از ۰/٤ میلی‌متر اثر بیشتری بر افزایش نرخ تـصادف‌هـا می‌گذارند. به طوری که با افزایش عمـق بافـت، کـاهش در نرخ تصادف‌ها با شدت کمتری همراه است.



شکل ٨ نمودار پراکنش نرخ تصادف‌های و عمق بافت تمامی قطعه‌های مطالعاتی

عمق بافت و ضریب اصـطکاک همبـستگی نـسبی دارند و دارای اثرهای مستقلی نیز در تصادف‌ها می‌باشند، از این رو، اقدام به ارائه الگویی برای بررسی تاثیر بـا هـم این دو متغیر بر نرخ تصادف‌های آزادراه‌هـا شـد. در ایـن راستا، الگوهای مختلفی از جمله خطی، تـوانی، نمـایی و ترکیبی مورد بررسی و بـرازش قـرار گرفـت و در پایـان، بهترین نتیجه از رابطـه (٦) حاصـل شـد. رابطـه ترکیبـی نمایی-خطی میان نرخ تصادف‌های آزادراهی بـا ضـریب اصـطکاک روسـازی و عمـق بافـت، مطـابق رابطـه (٦) می‌باشد.

$$Ar = A \times e^{(B\times\mu + C\times MTD)} \qquad (٦)$$

که در آن :

Ar = نرخ تصادف،

μ = ضریب اصطکاک روسازی،

MTD = عمق بافت روسازی، و

A، B و C عامل‌های رگرسیون است.

نتیجه‌های حاصل از الگوسازی این تصادف‌ها با ترکیب اثر ضریب اصطکاک و عمق‌بافت روسازی در جدول (٤) ارائه شده است. با توجه نتیجه‌های رگرسیون غیرخطی رابطه (۷) به دست آمده است:

$$Ar = 1870.96e^{(-7.545\times\mu+(-9.54)\times MTD)} \qquad (۷)$$

ضریب خوبی برازش رگرسیون (R) برای این رابطه مقدار ۰/82 است.

مقایسه مقدار شاخص R در رگرسیون رابطه(۷) با مقدارهای ضریب‌های همبستگی درج شده در جدول (۳)، بیان‌گر تشدید اثرهای ترکیبی نسبت به اثرهای منفرد متغیرهاست. بنابر این در صورتی که هر دو عامل در یک راه مورد اصلاح قرار گیرند، می‌توان انتظار بهبود بیشتری در ایمنی داشت.

جدول ٤ نتیجه‌های الگو رگرسیون ضریب اصطکاک روسازی و عمق بافت در مقابل نرخ تصادف

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
A	1870.964	1783.360	-1788.189	5530.116
B	-7.545	3.081	-13.866	-1.224
C	-9.541	2.980	-15.656	-3.426

ANOVA[a]

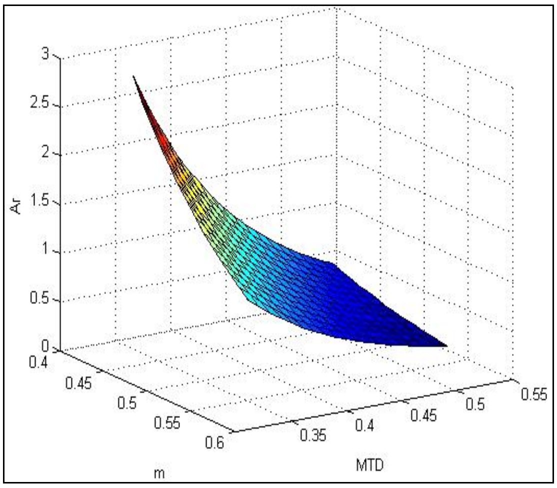
Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	25.543	3	8.514
Residual	3.814	27	.141
Uncorrected Total	29.357	30	
Corrected Total	11.717	29	

Dependent variable: Ar

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .674.

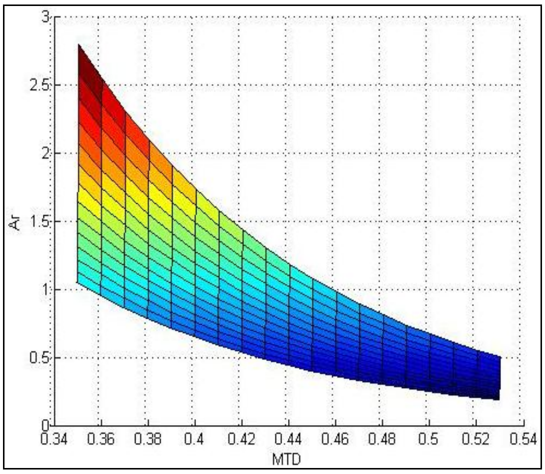
همان‌گونه که در رابطه (۷) مشاهده می‌شود، علامت ضریب‌های متغیرهای اصطکاک و عمق‌بافت روسازی هر دو منفی است و اثر نزولی بر نرخ تصادف دارند. یک کاهش یک درصدی در ضریب اصطکاک باعث کاهش ۷/٥٤ درصدی در میزان نرخ تصادف می‌شود. همچنین یک درصد تغییر در میزان عمق بافت روسازی باعث کاهش ۹/٤٥ درصدی در میزان نرخ تصادف می‌شود. در صورتی که بازه تغییرات ضریب اصطکاک یک راه از ۰,٤ به ۰,٥ و بازه تغییرات عمق بافت روسازی از ٤ به ٥ میلی متر در نظر گرفته شود، می‌توان انتظار کاهش نرخ تصادف‌ها از ۲ به ۰,٤ در هر میلیون وسیله نقلیه-کیلومتر را داشت.

در شکل‌های (۹)، (۱۰) و(۱۱) اثر ضریب اصطکاک روسازی و عمق بافت بر میزان نرخ تصادف با توجه به رابطه (۷) مشاهده می‌شود.



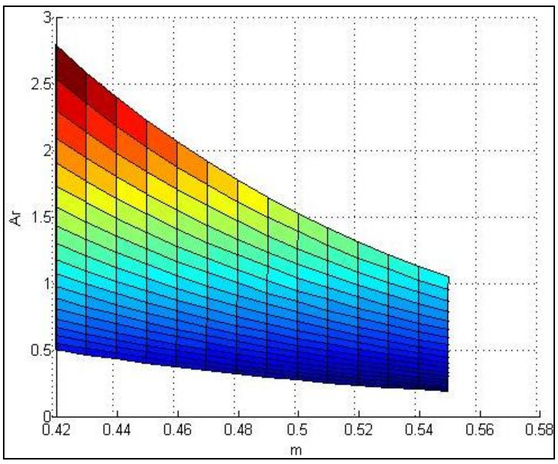
شکل ۹ نمودار سه بعدی تغییرات نرخ تصادف باافزایش ضریب-اصطکاک و عمق بافت

با توجه به نمودار سه بعدی نشان داده شده در شکل (۹) مشخص می‌شود که بالاترین نرخ تصادف مربوط به بخش‌هایی از روسازی است که دارای کمترین مقدار ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی هستند.



شکل ۱۰ نمودار تغییرات نرخ تصادف با افزایش عمق بافت روسازی

همان گونه که در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) مشاهده می‌شود، با افزایش ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی نرخ تصادف به صورت نمایی کاهش می‌یابد. همان‌طور که از ضریب‌های به دست آمده برای متغیرهای ضریب اصطکاک و عمق‌بافت روسازی در معادله (۷) انتظار می‌رود، کاهش نرخ‌تصادف در اثر افزایش عمق بافت روسازی نسبت به افزایش اصطکاک روسازی با شیب بیشتری همراه است.



شکل ۱۱ نمودار تغییرات نرخ تصادف با افزایش ضریب اصطکاک روسازی

نتیجه گیری

در این مقاله اثر با هم ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی بر میزان تصادف‌های آزادراهی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور چهار محور آزادراهی در سه ناحیه آب‌وهوایی متفاوت بررسی شد. برای ارزیابی تصادف‌ها از متغیر نرخ تصادف‌ها و از دو متغیر ضریب-اصطکاک روسازی و عمق بافت برای ارزیابی مقاومت لغزشی روسازی استفاده شد.

نتیجه‌ها نشان داد که ضریب اصطکاک روسازی و عمق بافت عامل‌های تاثیر گذار در میزان تغییرها در نرخ تصادف‌های آزادراهی است و افزایش ضریب اصطکاک روسازی و عمق بافت روسازی باعث کاهش میزان نرخ تصادف‌ها می‌شود. میزان اثرگذاری هر کدام از این متغیرها نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که اثر عمق بافت روسازی بر نرخ تصادف نسبت به ضریب اصطکاک روسازی بیشتر است.

براساس نتیجه‌های حاصل از تحلیل اثر مشترک ضریب اصطکاک و عمق بافت بر نرخ تصادف در آزادراه‌ها، بالاترین نرخ تصادف‌ها مربوط به قطعه‌های آزادراهی با ترکیب پایین‌ترین ضریب اصطکاک وعمق بافت روسازی، می‌باشد.

میزان کاهش نرخ تصادف در اثر افزایش یک درصدی عمق بافت روسازی کاهش ۹/۵۴ واحدی در میزان نرخ تصادف مشاهده می‌شود.

همچنین در اثر افزایش یک درصدی در ضریب اصطکاک، نرخ تصادف به میزان ۷/۵۴۵ واحد، کاهش می‌یابد.

در صورتی که بازه تغییرات ضریب اصطکاک یک راه از ۰,٤ به ۰,٥ و بازه تغییرات عمق بافت روسازی از ٤ به ٥ میلی متر در نظر گرفته شود، می‌توان انتظار کاهش نرخ تصادف‌های از ۲ به ۰,٤ در هر میلیون وسیله نقلیه-کیلومتر را داشت.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های بی‌دریغ مسئولان محترم دانشگاه بین المللی امـام خمینـی در فراهم کردن زمینه‌های لازم برای انجـام ایـن پـژوهش تشکر و قدردانی کنند.

مراجع

۱. سازمان راهداری و حمل ونقل جاده ای ،" سالنامه آماری حمل و نقل جاده‌ای "، وزارت راه و ترابری ، (۱۳۸۸) .
2. American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Friction Coefficient Measurements Between Tire and Pavement Using a Variable Slip Technique", ASTM E 1859-97, (2002).
3. Galambus, V., *"Pavement Texture and Available Skid Resistance",* Federal Highway Administration, Washington D.C. (1977).
4. Jayawickrama, P.W., and Senadheera, S.P., "Survey of state practice to control skid resistance on hot mix asphalt concrete pavement", Transportation Research Records Report No. 1536, TRB, Washington D.C., (1996).
5. Rizenbergs, R., Burcheit, J.C., and Warren, L.A., "Relation of Accidents and Pavement Friction on Rural Two Lane Roads", Transportation Research Records Report 296, TRB, Washington D.C., (1977).
6. Wang, H.J., *"An Assessment of the Skid Resistance and Macro-texture of Bituminous Road Surfacing ",* Transport Research Laboratory, (1992).
7. Henry, J.J., and Dahir, S.H., *"Effects of Textures and the Aggregates that produce them on the Performance of Bituminous Surfaces",* Transportation Research Record No. 712, TRB, Washington D.C., (1979).
8. Salt, G.F., "Research on Skid Resistance at the Transport and Road Research Laboratory (1927-1977)", TRRL Supplementary Report 340, (1977).
9. Wallman, C., and Astrom, H.,*" Friction Measurement Methods and the Correlation between Road Friction and Traffic Safety",* VTI meddelande 911A, Project Friction and Traffic Safety, (2001).
10. Kuttesch, J. S., *"Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data",* Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, (2004).
11. Al-Mansour, A., Al-Suhaibani, A., and Al-Syyari, S., "Pavement skid resistance analysis and evaluation of highway network in Saudi Arabia ", *First Gulf Conference on Roads, Kuwait,* (2005).
12. Masad, E., *"Relationship of Aggregate Texture to Asphalt Pavement Skid Resistance Using Image Analysis of Aggregate Shape,"* Transportation Research Board, Washington D.C., (2007).

۱۳. فخری، منصور و عموسلطانی، ارشاد، "بررسی تاثیر نوع سنگدانه بر خصوصیات اصطکاکی و نفوذپذیری اندودهای سنگدانه‌ای"، پژوهش‌نامه حمل و نقل، شماره ۳، ص. ۱۷۱– ۱۷۹، (۱۳۸٤) .

۱٤. مجمع جهانی راه– پیارک ،"راهنمای ایمنی راه ها"، انتشارات پژوهشکده حمل و نقل، معاونت آموزش، پژوهشات و فناوری، وزارت راه و ترابری، (۱۳۸٤).

15. Huang, Y. H.," Pavement Analysis and Design", 2nd ed., University of Kentucky, (2004).